

Válasz Prof. Tar József, az MTA doktora bírálatára
2020. április 10.

Szeretném megköszönni Dr. Tar József professzor úrnak az értekezésem alapos átnézésére szánt idejét, a sok tisztázó szándékú kérdését és a támogató bírálói véleményét. Külön, köszönöm, hogy az új eredményeket a bírálatában olyan részletességgel elemezte és foglalta össze, amely nagyban hozzájárul a tézisek megértéséhez és az irányításelméleten belül elfoglalt helyének beazonosításához.

A következőkben a Bíráló kérdéseire adott válaszaimat adom meg:

- 1) Kérdés: Az értekezés 16. oldalán a 3.6. ábra alatti szövegrészben a Szerző így ír: *„Szerencsés választás, ha minden egyes megfigyelt sorhoz (állapot) önálló beavatkozó lehetőség, azaz szabad jelzés idő (bemenet) tartozik.”* Valós városi forgalom esetén ez a megfogalmazás érzésem szerint finomítandó úgy, hogy a megfigyelt soroknak csupán egy csoportjához rendelhető hozzá egyszerre szabad jelzés idő, hiszen ha az egyik sáv szabad jelzést kap, egyes más sávok ugyanakkor piros jelzést kell, hogy kapjanak. A megfelelő „csoportok” célszerű kiválasztása gyanúm szerint az úthálózat topológiai szerkezetének figyelembevételével tehető meg. Előfordulhat-e a gyakorlatban (pl. alkalmi útlezárások, javítások miatt) olyan struktúra, amelyen teljesen telített forgalom esetén, azaz midőn minden egyes útszakasz tele van, a forgalom teljesen megbénulhat? (Ez az eset különbözik attól a helyzettől, amely akkor alakul ki, mikor a közlekedők nem tartják be a lámpák által előírt szabályokat, emiatt eltorlaszolja a keresztirányú sávot, amelyben emiatt a zöld idő alatt sem lehet mozdulni. Ezek a helyzetek általában a résztvevők „egyéni intelligenciája” és nem egy mechanikus modell alapján oldódnak meg.)

A megfogalmazás valószínű nem volt egyértelmű. Egy kereszteződésben a betorkolló csomóponti ágakban több forgalmi sáv is elhelyezkedhet. A helyzetjelző vonal előtt, a forgalmi sávban várakozó járműveket hívjuk járműsornak, vagy oszlopnak, a fenti megfogalmazásomban egyszerűen „sor”-nak. A csomópontban az egyszerre megengedett járműmozgásokat fázisoknak nevezzük. Az azonos fázisban történő járműmozgások egymással nincsenek konfliktusban, a tiltási és a közbensőidő mátrix alapján. Egy fázison belül az azonos jelképet mutató jelzőfejek (járműsorok) egy jelzőcsoportot alkotnak. A valóságban tehát a módszeremben az egy jelzőcsoportoz tartozó sorhosszakat össze kell számolni és jelzőcsoportonként lehet a szabad jelzés idejét meghatározni. Azaz nem egyszerre lesz minden sornak szabad jelzése, hanem úgy lehetett volna pontosabban fogalmaznom: *„Szerencsés választás, ha minden egyes megfigyelt sorhoz (állapot) önálló beavatkozó lehetőség, azaz soronként(állapotonként) külön állítható szabad jelzés idő (bemenet) tartozik.”* Lehet, hogy ez triviálisnak tűnik, pedig a gyakorlatban nem így van, elég csak olyan esetekre gondolni, amikor az egyes (akár egymás mellett lévő) forgalmi sávok kötelező haladási iránya más és más és mégis a fentiek szerint akár egy jelzőcsoportban vannak, akkor azokon a zöld idő mégis csak egyszerre állítható.

A kérdés másik részére a válasz kicsit elméletibb megközelítést igényel. Egy hálózatban elvileg előállhat olyan szituáció, hogy minden útszakaszon éppen annyi jármű áll, mint az adott útszakasz maximális kapacitása. A gyakorlatban ennek a helyzetnek a kialakulási valószínűsége egyébként nagyon kicsi, a valóságban inkább jellemző, hogy egyes szakaszok teljesen telítettek míg mások kevésbé. Azonban, ha eljátszunk a gondolattal, hogy mégis kialakul egy ilyen szituáció, akkor a lehatárolt hálózatban valóban egy jármű sem tudna a helyét változtatni, de a hálózat határán a lehatárolt területről kihaladó járművek el tudnák hagyni a hálózatot. Ezen

járművek kifelé haladása csökkentené a belső útszakaszok forgalmát és lassan feloldódna a torlódás, nyilván ennek mértéke függ a közben kívülről a hálózatba befelé közlekedő járművek számától is.

- 2) Kérdés: Az értekezésben a Szerző kiemeli, hogy e módszer „telített forgalmi körülmények között” használható, mert az alkalmazott lineáris modell feltételezi, hogy a kiáramló járműszám egyenesen arányos a szabad jelzés időtartamával, azaz mindig van elegendő sorban álló jármű. Jól értem-e, hogy ennek a korlátozásnak gyakorlati fontossága nincs, mivel ha a forgalom nem telített, azaz a szabad jelzések időtartama alatt a sorok ki tudnak ürülni, lényegében nincs is szükség szofisztikált forgalomirányításra? (Ekkor az irányítás szerepe kimerül annak akadályozásában, hogy a keresztirányú forgalomban haladó járművek egymással ne ütközzenek, s gyér forgalom esetén akár villogóra is lehet állítani a lámpákat, mert a közlekedők pl. a „jobbkez szabály” alkalmazásával maguk is meg tudják oldani az ütközések elkerülésének feladatát?

Pontosan. A gyakorlatban alkalmazott intelligens forgalomirányítási módszereknek, akkor van hatása, ha a forgalom kellően nagy. Nemcsak az én módszerem pozitív rendszer tulajdonságai végett van így, hanem az irányítás hatékonysága miatt is. A tapasztalat az, hogy alacsony járműszám esetén az egyszerű rögzített időterv szerinti vezérlés is tökéletesen megfelelő a kereszteződésben a biztonságos áthaladás irányítására. Nagyon kis járműszám esetén, pl. éjszaka pedig sárga villogó is megengedett.

- 3) Kérdés: A 22. oldalon a 3.10. ábra alatti szövegrészben ez áll: „Az LQ szabályozási feladatot a következők alapján fogalmazhatjuk meg: a mért járműszámok ismeretében és az átbocsátó képességek alapján kell a szabad jelzések időtartamát úgy kiszámítani, hogy a következő lépésben a lehető legkevesebb legyen a során álló járművek száma az egyes ágakban.” Az így nyert eredményben a Q súlyozó mátrix elemei határozzák meg, hogy egyes ágak szempontjai milyen mértékben vannak figyelembe véve. Vannak-e valamilyen általános gyakorlati ökölszabályok a Q mátrix elemeinek célszerű megválasztására?

A Q és R súlyozómátrixok az általam felhasznált módszerekben valóban rendkívül fontos szerepet kapnak és alapvetően határozzák meg azok minőségi jellemzőit. Szerepüket az is mutatja, hogy két bíráló is kérdést fogalmazott meg velük kapcsolatban. A Tar József professzor úr kérdésében felmerült LQ szabályozó algoritmusban a Q az állapotvektort súlyozza, azaz a járműszámot, míg az R a bemenet, azaz a szabad jelzésidőket. Fizikai értelemben az állapotvektoron lévő Q súly az egyes állapotok kiemelésére, mások háttérbe szorítására szolgál, ami ebben az esetben egyes forgalmi irányok, csomóponti ágakban megjelenő forgalmak közötti különbségtételt teszi lehetővé. Ezzel a módszerrel hálózatokon belül lehet olyan fő irányokat, főútvonalakat kijelölni, amelyek forgalmának előnyt szeretnénk biztosítani a forgalomirányítás során. Alapesetben a Q kezdő értékének célszerű az adott állapot maximális értékeinek (vagy négyzetének) a reciprokait választani.

- 4) Kérdés: A 25. oldalon a „3.3.2. A célforgalmi mátrix klasszikus becslése” c. szakaszban megjelenik a „ráterhelési mátrix” az „útvonal”, valamint a hálózat „útszakaszai” halmazának fogalma. Számomra nem érthető tisztán az „útszakaszok” illetve az „útvonal” fogalmának használata az értekezésben. Útvonalon valamilyen „komplex útszakasz

sorozatot” lennék hajlamos érteni, amely a közlekedő szándéka szerint alakul ki. Például egy ilyen útvonal sok zárt hurkot is tartalmazhat, mikor valaki egy adott környéken éppen felszabaduló parkolóhelyre vadászik. Az ilyen képződmények halmazáról bizonyára nagyon kevés információ nyerhető ki a szokásos megfigyelési módszerekkel. Lehetséges-e az értekezés ezen részét csupán az „útszakaszok” fogalmára alapozva tárgyalni, elhagyva belőle az „útvonal” fogalmát?

A válasz röviden igen. Ebben a fejezetben tárgyalt célforgalmi mátrix becsléséhez nem kell az útvonal, sőt még szakasz sem. A célforgalmi mátrix igazából csak a kiindulási és végpontok között teremt kapcsolatot. Azért tartottam mégis fontosnak a ráterhelési módszer teljes spektrumát bemutatni, mert a következő fejezetben a 3.4.-ben már kibővül a honnan-hová információ azzal is, hogy az adott kapcsolat milyen útvonalon és szakaszokon jött létre.

- 5) Kérdés: A 67. oldal (4.76) egyenlete azt sugallja, hogy egy Lagrange szorzó következő lépésbeli értékének kiszámítása az alkalmazott iterációban igényli az összes többi Lagrange szorzó aktuális értékének ismeretét is. Jól értem-e, hogy a 65. oldalon szereplő „4.12. ábra. Elosztott irányítási struktúra” című ábra ezt az igényt nem látatja pontosan, mert olyan felületes benyomást kelt, mintha az egyes szabályozók csak a szomszédaikkal kommunikálnának?

A válasz itt is röviden igen. A számítás menete az „*Algoritmus M.2 Párhuzamos számítású, elosztott MPC*” mellékletben található meg részletesen. A valóságban a forgalomirányító berendezések sokszor láncszerűen vannak felfűzve egymáshoz, ezt szimbolizálja a 4.12 ábra, de elvileg a rendszertől függően mindenki mindenkivel tud kommunikálni, ha máshogy nem a központon keresztül. Ezekben a valós forgalomirányító rendszerekben a kommunikáció adatátvittele is szűk keresztmetszet, valamint a berendezések és a központ számítási kapacitása is korlátos. Mivel azonban több csomópont van mindenhol egy forgalomirányító berendezéssel, ezért a sok kis kapacitás együttesen már elég jelentős. Az MPC számítási feladat a csomópontok számával közel lineárisan növekszik, de ezzel a csomóponti számítási kapacitás is ugyanígy nő, ezért célszerű egy elosztott számítási módszert alkalmazni. A bemutatott módszer lényege, hogy minden iterációs folyamat végén (amit minden processzor külön-külön végez párhuzamosan) mindenki mindenkivel megosztja az aktuális iterációban kiszámított Lagrange-szorzókat, utána minden csomóponti processzor csak a saját számítási feladatát (iterációt) végzi el ismételten, és állítja elő a λ értékét. A globális kommunikáció tehát minden párhuzamos iteráció végén történik meg, és áll elő a λ vektor aktuális értéke minden csomópontban. Amikor a λ vektor értéke már lényegében nem változik, minden csomóponti berendezés a λ vektor segítségével kiszámítja a saját csomópontjának bemenő jel értékeit, azaz a zöld időket. A fenti többszörös iterációs folyamatnak és a vele járó globális kommunikációnak a ciklusidő értékén belül le kell futnia, ami jellemzően 60-90 másodperc, de a tapasztalatok szerint ez kényelmesen bele is fér (pár másodperc 10 csomópont esetén).

Budapest, 2020. április 15.

.....
Varga István